

Analisis Kekuatan Massa Batugamping Dengan Menggunakan Kaidah Hoek-Brown *Failure Criterion-Roclab* di Daerah Gunung Sudo Kabupaten Gunung Kidul Yogyakarta

(Analysis of Limestone Mass Strength Using Hoek-Brown Failure Criterion-Roclab at Gunung Sudo Area, Gunung Kidul Regency, Yogyakarta)

R. Andy Erwin Wijaya¹, Dianto Isnawan²

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional

²Jurusan Teknik Geologi, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional

Abstract

The research area is a limestone quarry region prospect, located in Gunung Sudo, Gunung Kidul Regency, Special Region of Yogyakarta Province. Safety factor of bench in limestone quarry is extremely determined by rock mass quality. The aim of this research is analyzing of rock mass strength of limestone in the quarry prospect using the Hoek-Brown failure criterion. The research used quantitative method. To obtain rock mass strength analysis of limestone needs some parameters. The main parameters are uniaxial compressive strength of intact rock, GSI, lithology, disturbance factor, unit weight and application for slope (height). To solve this analysis is assisted by Roclab software. The Roclab is a software program for determining rock mass strength parameters based on the generalized Hoek-Brown failure criterion. Final result of the research will be used for safely mine design of the limestone quarry.

Keywords: Rock mass strength, Limestone, Roclab.

1. Pendahuluan

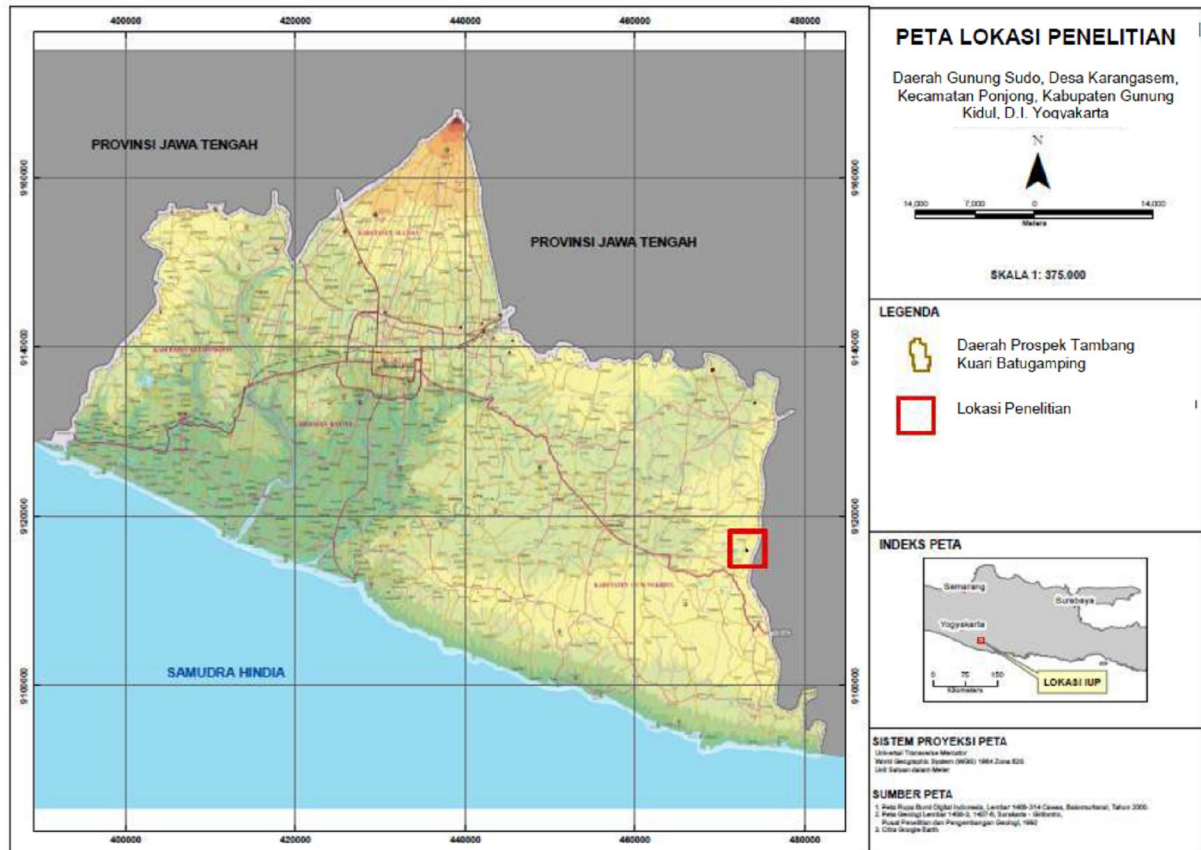
Batugamping merupakan salah satu jenis bahan galian industri yang dapat dimanfaatkan secara ekonomis dalam jumlah besar di Indonesia, salah satunya terdapat di daerah Gunung Sudo, Kabupaten Gunung Kidul, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Untuk dapat memanfaatkan batugamping secara optimal, sangat perlu memperhatikan kondisi lahan batugamping. Kondisi lokasi bahan galian sangat beragam pada lokasi yang berbeda. Aktivitas penambangan terbuka (kuari) sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi teknik dan stabilitas lereng, dimana dapat mengakibatkan tidak amannya suatu lahan tambang terbuka yang lazim dikenal sebagai longsor lereng tambang. Longsor lereng penambangan pada umumnya disebabkan berbagai faktor sifat fisik dan mekanik dari bahan galian tersebut, geometri lereng, adanya bidang diskontinuitas, air tanah dan gempa bumi/getaran.

Kondisi lahan tersebut harus dianalisis stabilitas lerengnya karena menyangkut keselamatan kerja, keamanan peralatan dan kelancaran produksi (Amran, 2002). Kondisi lahan tambang kuari batugamping tersebut sangat dipengaruhi oleh kualitas massa batuan. Kualitas massa batuan dapat ditentukan dengan cara menganalisis kekuatan massa batuan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan massa batuan dalam menggunakan kaidah *Hoek-Brown failure criterion* yang dibantu dengan *Roclab software*. *Roclab* ini merupakan program yang dapat menentukan parameter – parameter kekuatan massa batuan berdasarkan *generalized Hoek-Brown failure criterion, 2002*. Program ini merupakan produksi dari Rockscience.ltd.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak di daerah prospek tambang kuari batugamping Gunung Sudo, Desa Karangasem, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunung Kidul, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. (Gambar 1).

* Korespondensi Penulis: (R. Andy Erwin Wijaya)
Jurusan Teknik Pertambangan, Sekolah Tinggi
Teknologi Nasional, Yogyakarta.
E-mail: andy_sttnas@yahoo.com



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Tinjauan Pustaka

Geologi Regional

Geomorfologi regional bagian selatan Pulau Jawa merupakan perbukitan – pegunungan, disebut Pegunungan Selatan (Van Bemmelen, 1949). Pegunungan Selatan di Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah dirinci menjadi empat zone, yaitu zone fisiografi gawir Lajur Baturagung – Plopoh (*Baturagung – Plopoh Range*) berada di utara, cekungan antar pegunungan di tengah, plato karst (*Gunung Sewu Karst*) di selatan, dan pantai selatan menghadap Samudra Hindia. Cekungan antar pegunungan di Pegunungan Selatan ada dua, yaitu Cekungan Wonosari (*Wonosari Basin*) di barat, dan Cekungan Baturetno (*Baturetno Basin*) di timur.

Secara fisiografi lokasi penelitian dan sekitarnya termasuk dalam jalur Pegunungan Selatan yang terdapat di Pulau Jawa bagian tengah dengan bagian utara yang dibatasi sesar bertingkat (normal) pada jalur Sambipitu-Sambeng. Daerah Kecamatan Ponjong dari sudut pandang

geomorfologi termasuk dalam bagian Masif Panggung (bagian selatan Pegunungan Selatan), Kars Gunung Sewu, dan Cekungan Wonosari. Wilayah Ponjong secara geomorfologi merupakan peralihan antara Pegunungan Selatan, Cekungan Wonosari, dan Karst Gunung Sewu.

Satuan batuan di Daerah Karangasem, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunung Kidul dapat dibedakan menjadi dua macam satuan batuan, yaitu satuan batugamping klastik/kristalin (keras) dan satuan batugamping non klastik (lunak). Satuan batugamping ini diperkirakan termasuk dalam formasi Wonosari yang berumur Meosen tengah-Meosen akhir.

Stratigrafi regional daerah Ponjong termasuk dalam stratigrafi Pegunungan Selatan bagian barat. Batuan berumur Tersier merupakan penyusun utama di daerah ini, terdiri dari Formasi Semilir, Oyo, Wonosari, dan penyusun yang lain adalah endapan aluvium berumur Kuartar (Surono, dkk., 1992,). Menurut van Bemmelen (1949), di sekitar Ponjong terbentuk Formasi Kepek. Dan daerah Gunung Sudo tersebut termasuk

bagian dari Formasi Wonosari (Tmwl). Batuan penyusun formasi ini merupakan batugamping, batugamping napalan-tufan, batugamping konglomerat, batupasir tufan dan batulanau.

Pada sebaran daerah Ponjong, arah tinggian dan rendahan morfologi bervariasi, yaitu timurlaut - baratdaya, utara - selatan, dan barat - timur. Pada bentangalam non-kars, kekar tidak terekspresikan kecuali sudah berkembang menjadi sesar. Sesar, secara konseptual merupakan perkembangan dari kekar. Dua struktur geologi itu dibedakan karena pada kekar tidak disertai perpindahan tempat (*displacement*), sedangkan pada sesar ada perpindahan tempat atas batuan yang mengalami pensesaran. Dengan demikian temuan arah-arah sesar identik dengan arah kekar. Pembentukan sesar ditemui di kompleks Gunung Sudo (wilayah Ponjong bagian utara), dengan arah timurlaut - baratdaya, dan barat - timur. Sebagian daerah pada Formasi Wonosari yang mempunyai sudut kemiringan batuan antara $30^{\circ} - 60^{\circ}$, dan juga terdapat daerah yang mempunyai sudut kemiringan batuan sekitar 70° di sekitar zone sesar yang membentuk tinggian morfologi Gunung Sudo (408 - 451 m).

Kekuatan Massa Batuan

Kriteria Runtuhan Hoek-Brown dan Mohr-Coulomb, seperti pada Persamaan 1 (Hoek et al., 2002). Besar nilai kekuatan batuan dapat diketahui seperti *compressive strength* dan *tensile strength* (Persamaan 2 dan 3).

Hoek-Brown failure criterion :

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left[m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right]^a \quad (1)$$

Besar nilai *uniaxial compressive strength* (σ_c) diperoleh saat $\sigma_3' = 0$, maka :

$$\text{Compressive strength} : \sigma_c = \sigma_{ci} \cdot S^a \quad (2)$$

$$\text{Tensile strength} : \sigma_t = -\frac{S \cdot \sigma_{ci}}{m_b} \quad (3)$$

Dimana m_b merupakan penurunan konstanta material m_i dengan besar :

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right) \quad (4)$$

S dan a adalah konstanta massa batuan yang berhubungan dengan besar nilai GSI dan D , sebagaimana dijabarkan Persamaan 5 dan 6.

$$S = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \quad (5)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}) \quad (6)$$

Berdasarkan Mohr-Coulomb, besar kekuatan massa batuan adalah :

$$\sigma_{cm}' = \frac{2c' \cdot \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} \quad (7)$$

Dimana c' dan ϕ' ditentukan untuk kisaran tegangan $\sigma_t < \sigma_3 < \sigma_{ci}/4$, maka kekuatan massa batuan berdasarkan hubungan Mohr-Coulomb dan Hoek-Brown :

$$\sigma_{cm}' = \sigma_{ci}' \cdot \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s))(m_b / 4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

Dengan σ_1' dan σ_3' tegangan efektif terbesar dan terkecil, σ_{ci} *uniaxial compressive strength of the intact rock material*, c' kohesifitas, ϕ' sudut friksi dalam, m_i nilai konstanta batuan padu, dan D faktor gangguan.

Modulus Deformasi

Penentuan besar modulus deformasi berdasarkan nilai GSI bisa dilihat dari Persamaan 9 dan 10.

Hoek-Brown dalam Hoek et al. (2002).

$$E_d (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{((GSI-10)/40)} \quad (9)$$

Persamaan tersebut berlaku jika $\sigma_{ci} \leq 100$ MPa.

Untuk $\sigma_{ci} > 100$ MPa, maka :

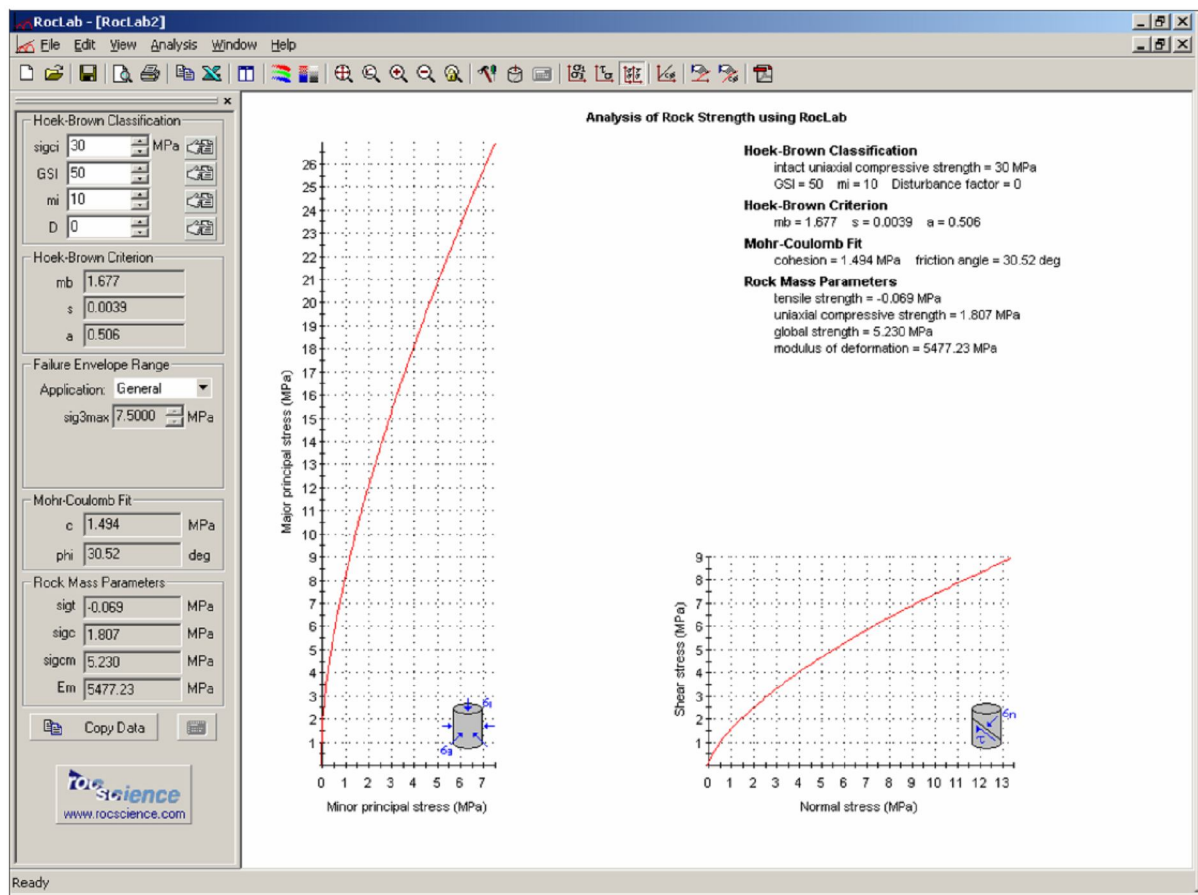
$$E_d (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \cdot 10^{((GSI-10)/40)} \quad (10)$$

Program Roclab

Roclab ini merupakan program yang dapat menentukan parameter – parameter kekuatan massa batuan berdasarkan *generalized Hoek-Brown failure criterion* edisi 2002 yang diproduksi oleh Rocscience.ltd.

Beberapa parameter utama sebagai input data dalam mengoperasikan *Roclab* terdiri dari : uji kuat tekan uniaksial (*intact*

rock), nilai GSI, konstanta material batuan sesuai litologi, faktor gangguan dan aplikasi untuk lereng (bobot isi dan tinggi keseluruhan lereng yang direncanakan). Program ini dapat digunakan dengan cara yang sangat mudah dan cepat daripada menggunakan persamaan matematis dan merupakan program tidak berbayar. Contoh tampilan analisis *Roclab* dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Contoh layout hasil analisis *roclab*

2. Metode Penelitian

Objek Penelitian

Beberapa objek penelitian dalam analisis kekuatan massa batuan pada batugamping di daerah Gunung Sudo, Kabupaten Gunung Kidul terdiri dari : kondisi topografi dan geomorfologi, struktur batuan, litologi, kondisi singkapan permukaan batuan, kuat tekan batuan utuh pada lahan prospek tambang kuari batugamping.

Tahapan Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan induktif. Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang meliputi: persiapan, perijinan, *reconnaissance*, pengamatan lapangan, pengambilan sampel untuk memperoleh data – data primer, tahap olah data dan analisis serta pembahasan. Tahapan penelitian secara rinci dijelaskan dalam diagram alir penelitian yang dapat

dilihat pada Gambar 3. Hasil akhir penelitian ini adalah analisis kekuatan massa batugamping pada tambang kuari batugamping di daerah Gunung Sudo.

3. Hasil dan Pembahasan

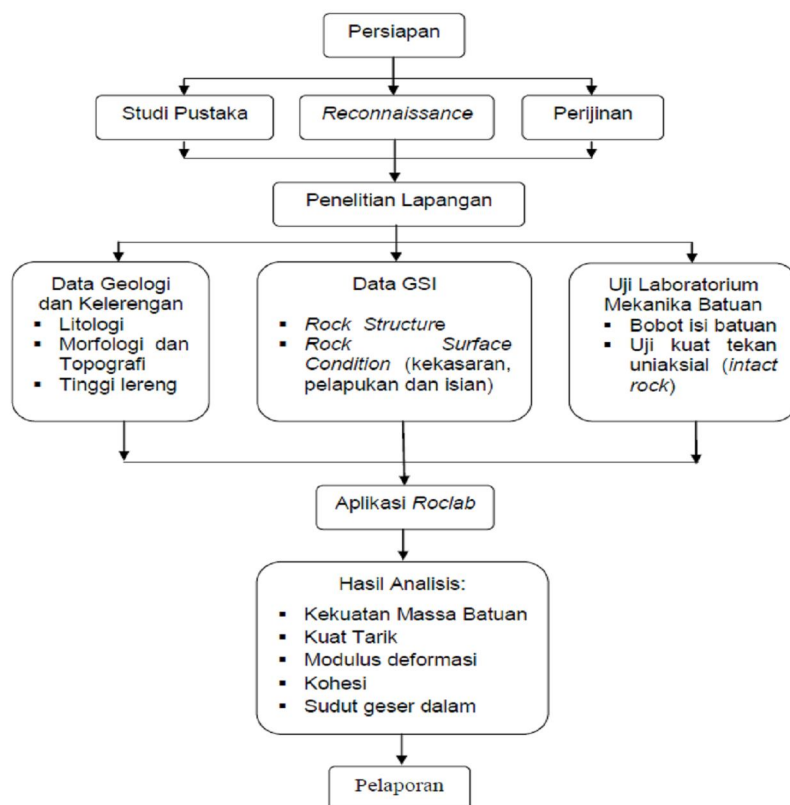
Keadaan Lokasi Penelitian

Morfologi di daerah sekitar penelitian merupakan perbukitan sedang hingga terjal kemiringan lereng sebesar 30° - 80° (Gambar 4). Sehingga dilihat dari aspek morfometri dapat dikelompokkan ke dalam daerah perbukitan sedang – sangat curam (Zuidam, 1983). Topografi lokasi penelitian di daerah Gunung Sudo merupakan daerah perbukitan dengan ketinggian antara 410 m – 451 m di atas permukaan air laut (dpl).

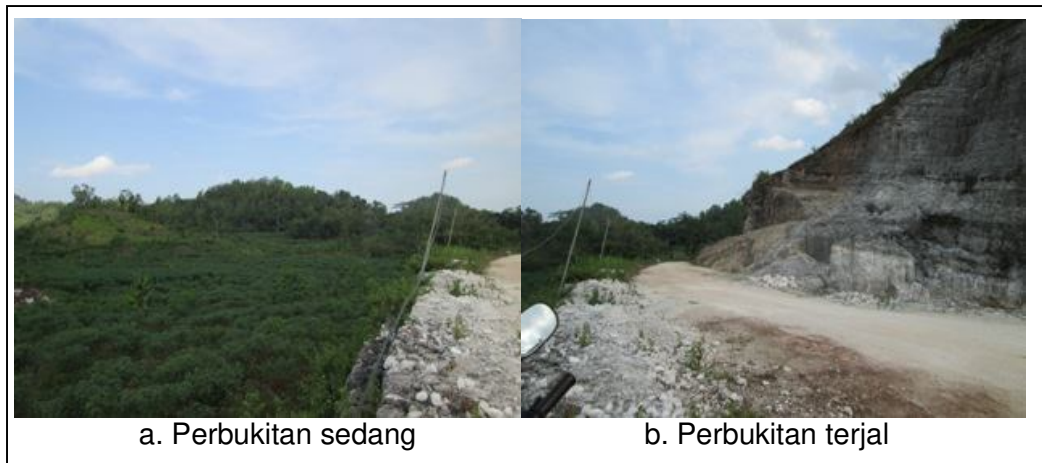
Secara umum perbedaan ketinggian maupun kelerengan di daerah penelitian sangat mencolok. Jenis hidrologi yang berkembang di sebagian daerah Ponjong dan sekitarnya adalah hidrologi kars.

Kondisi batugamping di tambang kuari batugamping dapat diketahui dengan jelas dari beberapa singkapan (*outcrop*) batugamping. Lapisan batugamping mempunyai arah umum (*strike*) $N 290^{\circ} - 300^{\circ} E$ dan kemiringan (*dip*) sebesar $32^{\circ} - 38^{\circ}$ (Gambar 5).

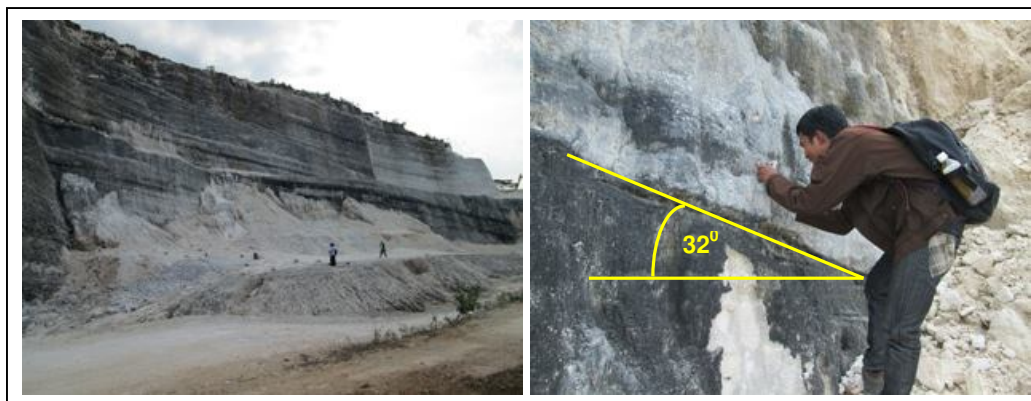
Pengambilan foto dan sampel batugamping dilakukan sebanyak 20 (dua puluh) titik di daerah Gunung Sudo. Koordinat dan peta pengamatan batugamping dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 6.



Gambar 3. Bagan alir penelitian



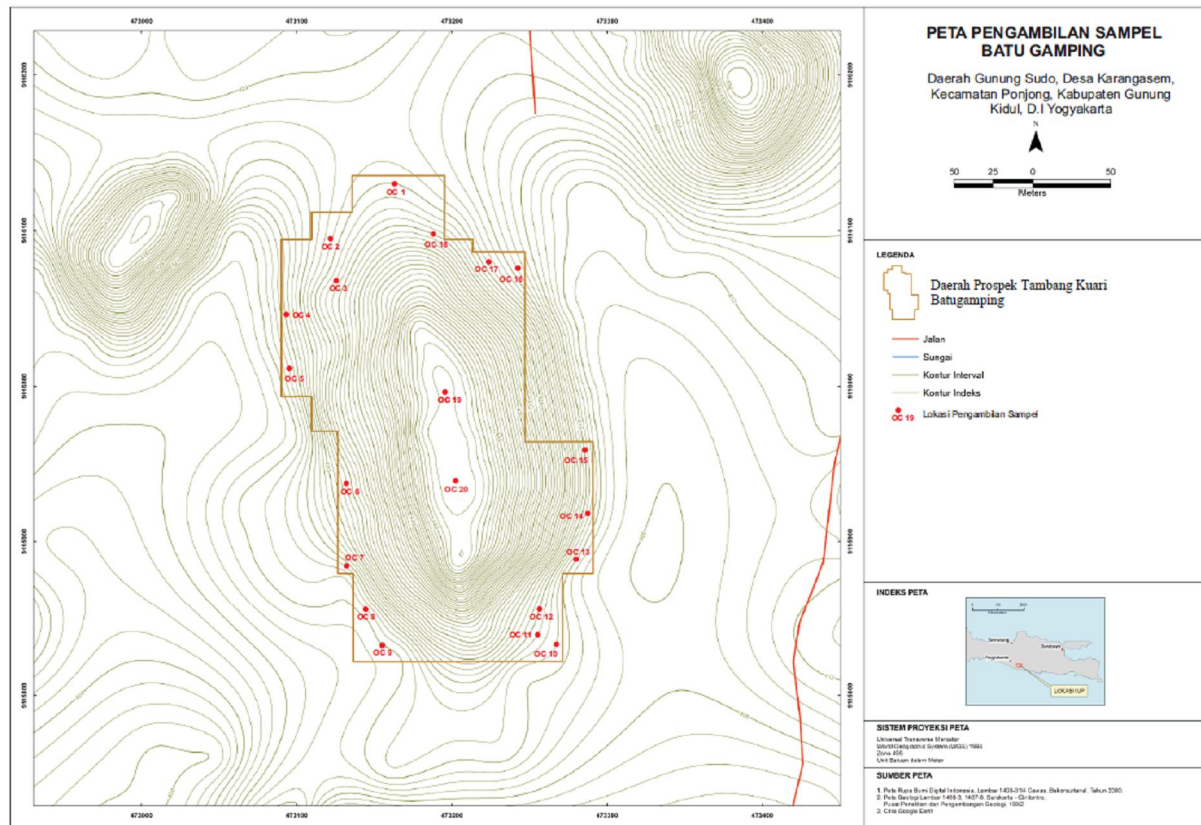
Gambar 4. Morfologi Daerah Sekitar Penelitian



Gambar 5. Singkapan (*outcrop*) batugamping

Tabel 1. Koordinat pengamatan dan pengambilan sampel Batugamping Gunung Sudo

Kode Sampel	mE	mN
OC.1	473170	9116128
OC.2	473128	9116094
OC.3	473128	9116067
OC.4	473093	9116045
OC.5	473095	9116009
OC.6	473132	9115936
OC.7	473131	9115883
OC.8	473151	9115852
OC.9	473163	9115829
OC.10	473265	9115830
OC.11	473253	9115835
OC.12	473255	9115854
OC.13	473279	9115886
OC.14	473287	9115916
OC.15	473285	9115957
OC.16	473243	9116075
OC.17	473223	9116080
OC.18	473190	9116096
OC.19	473196	9115995
OC.20	473203	9115936



Gambar 6. Peta lokasi pengamatan dan pengambilan sampel Batugamping Gunung Sudo

Estimasi GSI dan Hasil Uji Laboratorium Mekanika Batuan

Estimasi *Geological Strength Index* yang digunakan dalam penelitian ini adalah dari Sonmez dan Ulusay 1999. *Geological Strength Index* (GSI) merupakan modifikasi *chart* dari *Geological Strength Index* (Hoek, 1994) yang dapat mengestimasi *volumetric joint count* secara lebih detil pada *structure rating* (SR) untuk jenis batuan yang terdisintegrasi seperti pada lapisan batugamping di daerah Gunung Sudo. Kabupaten Gunung Kidul, Yogyakarta. Hasil estimasi GSI adalah sekitar 58 – 66. Hasil uji laboratorium mekanika batuan meliputi: σ_{ci} : 26-30 Mpa dan bobot isi : 2,26 - 2,35 gr/cm³. Faktor gangguan : 0,7 (kegiatan penambangan berupa penggalian batuan dengan menggunakan peralatan mekanis). Hasil secara rinci dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data nilai GSI, σ_{ci} , γ , D

Kode Sampel	Litologi	Nilai GSI	σ_{ci} (MPa)	γ (gr/cm ³)	D
OC.1	Batugamping	64	30	2,31	0,7
OC.2	Batugamping	65	30	2,28	0,7
OC.3	Batugamping	59	26	2,19	0,7
OC.4	Batugamping	59	26	2,28	0,7
OC.5	Batugamping	66	30	2,28	0,7
OC.6	Batugamping	65	26	2,29	0,7
OC.7	Batugamping	58	26	2,28	0,7
OC.8	Batugamping	66	28	2,28	0,7
OC.9	Batugamping	66	28	2,22	0,7
OC.10	Batugamping	59	26	2,16	0,7
OC.11	Batugamping	59	26	2,26	0,7
OC.12	Batugamping	64	30	2,27	0,7
OC.13	Batugamping	66	28	2,31	0,7
OC.14	Batugamping	60	26	2,26	0,7
OC.15	Batugamping	59	26	2,19	0,7
OC.16	Batugamping	64	26	2,24	0,7
OC.17	Batugamping	65	28	2,26	0,7
OC.18	Batugamping	66	26	2,20	0,7
OC.19	Batugamping	60	26	2,26	0,7
OC.20	Batugamping	60	28	2,35	0,7

Aplikasi Roclab Untuk Analisis Kekuatan Massa Batugamping

Berdasarkan analisis kekuatan massa batuan pada lapisan batugamping di daerah Gunung Sudo dengan menggunakan bantuan *Roclab software* diperoleh nilai beberapa parameter massa batuan masing-masing sampel seperti pada gambar lampiran, meliputi: kuat tekan uniaxial (σ_c), kuat tarik (σ_t), kekuatan massa batuan

(σ_{cm}). Hasil analisis kekuatan massa batuan pada lapisan batugamping di daerah Gunung Sudo secara umum mempunyai kekuatan massa batuan yang sedang, sehingga tidak berpotensi terjadi kelongsoran pada dinding lereng penambangan batugamping. Secara rinci hasil analisis kekuatan massa batuan terdapat pada Tabel 3.

Tabel. 3. Hasil analisis kekuatan massa batuan pada Batugamping Gunung Sudo

No	Kode Sampel	Litologi	Nilai GSI	σ_{ci} (MPa)	D	m_i	m_b	S	a	c (MPa)	ϕ (°)	σ_c (MPa)	σ_t (MPa)	σ_{cm} (MPa)
1	OC.1	Batugamping	64	30	0,7	10	1,383	0,0054	0,502	0,477	45,52	2,185	-0,118	4,920
2	OC.2	Batugamping	65	30	0,7	10	1,462	0,0063	0,502	0,498	45,94	2,351	-0,129	5,085
3	OC.3	Batugamping	59	26	0,7	10	1,051	0,0026	0,503	0,350	42,95	1,309	-0,065	3,630
4	OC.4	Batugamping	59	26	0,7	10	1,051	0,0026	0,503	0,356	42,66	1,309	-0,065	3,630
5	OC.5	Batugamping	66	30	0,7	10	1,544	0,0072	0,502	0,522	46,28	2,530	-0,141	5,257
6	OC.6	Batugamping	65	26	0,7	10	1,462	0,0063	0,502	0,455	44,97	2,038	-0,111	4,407
7	OC.7	Batugamping	58	26	0,7	10	0,995	0,0023	0,503	0,343	42,25	1,215	-0,059	3,517
8	OC.8	Batugamping	66	28	0,7	10	1,544	0,0072	0,502	0,499	45,83	2,362	-0,131	4,907
9	OC.9	Batugamping	66	28	0,7	10	1,544	0,0072	0,502	0,493	46,04	2,362	-0,131	4,907
10	OC.10	Batugamping	59	26	0,7	10	1,051	0,0026	0,503	0,347	43,08	1,309	-0,065	3,630
11	OC.11	Batugamping	59	26	0,7	10	1,051	0,0026	0,503	0,355	42,72	1,309	-0,065	3,630
12	OC.12	Batugamping	64	30	0,7	10	1,383	0,0054	0,502	0,475	45,61	2,185	-0,118	4,920
13	OC.13	Batugamping	66	28	0,7	10	1,544	0,0072	0,502	0,501	45,74	2,362	-0,131	4,907
14	OC.14	Batugamping	60	26	0,7	10	1,110	0,0030	0,503	0,368	43,12	1,409	-0,071	3,747
15	OC.15	Batugamping	59	26	0,7	10	1,051	0,0026	0,503	0,350	42,95	1,309	-0,065	3,630
16	OC.16	Batugamping	64	26	0,7	10	1,383	0,0054	0,502	0,432	44,73	1,893	-0,102	4,264
17	OC.17	Batugamping	65	28	0,7	10	1,462	0,0063	0,502	0,475	45,50	2,194	-0,120	4,746
18	OC.18	Batugamping	66	26	0,7	10	1,544	0,0072	0,502	0,454	46,20	2,193	-0,122	4,556
19	OC.19	Batugamping	60	26	0,7	10	1,110	0,0030	0,503	0,368	43,12	1,409	-0,071	3,747
20	OC.20	Batugamping	60	28	0,7	10	1,110	0,0030	0,503	0,391	43,37	1,518	-0,077	4,035

4. Kesimpulan

Kekuatan massa batuan pada lapisan batugamping di daerah Gunung Sudo secara umum mempunyai kekuatan massa batuan yang sedang, sehingga tidak berpotensi terjadi kelongsoran pada dinding lereng penambangan batugamping.

Daftar Pustaka

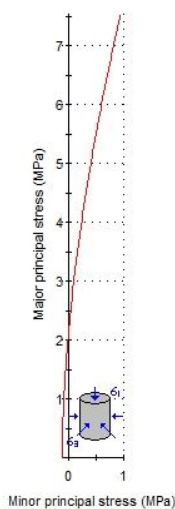
- Amran, A., Haswanto, Sugeng, M., B., dan Nelson R., (2002) *Analisa Kestabilan Lereng di Lokasi Blok Barat PT. Inco Soroako Sulawesi Selatan*, Prosiding Perhapi. Jakarta.
- Hoek, E. (1994) *Strength of Rock and Rock Masses*. News J ISRM 2 (2) : p. 4–16.
- Hoek, E., Torres, C.,C., and Corkum, B., (2002) *Hoek-Brown Failure Criterion*, Rockscience Inc., Toronto, Canada.
- Hoek, E. (2007) *Practical Rock Engineering*. Notes, Evert Hoek Consulting Engineer Inc., Canada. <http://www.rockscience.com>.
- Sonmez, H. and Ulusay, R. 1999. *Modifications to Geological Strength Index (GSI) and Their Applicability to stability of Slopes*. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, Vol. 36, p. 743-760.
- Surono, Toha, B., dan Sudarno, I., (1992) *Peta Geologi Surakarta – Giritontro skala 1 : 100.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G) Bandung.
- Van Bemmelen, RW., 1949, *The Geology of Indonesia, Vol. IA, General Geology of Indonesia And Adjacent Archipelagoes*, Second Edition, Martinus Nijhoff, The Hague.
- Wijaya, R.A.E. (2015) *Model Klasifikasi Kelayakan Lahan Tambang Kuari Batugamping Berdasarkan Kondisi*

Geologi Teknik dan Stabilitas Lereng Sebagai Dasar Perencanaan Tambang, Laporan Penelitian Hibah Bersaing, Kemenristek Dikti.

Zuidam R.A.V., 1983, *Guide to Geomorphology Aerial Photographic Interpretation and Mapping*, ITC Enschede, The Netherlands.

Lampiran : Analysis of Rock Strength Using Roclab

Sampel OC.1



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 30 MPa
GSI = 64 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

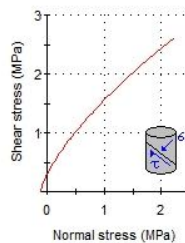
$m_b = 1.383$ $s = 0.0054$ $a = 0.502$

Mohr-Coulomb Fit

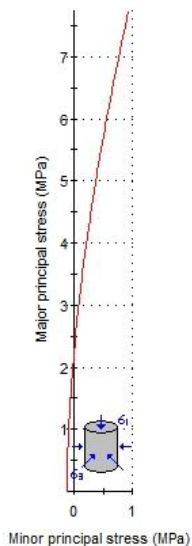
cohesion = 0.477 MPa friction angle = 45.52 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.118 MPa
uniaxial compressive strength = 2.185 MPa
global strength = 4.920 MPa
modulus of deformation = 7970.29 MPa



Sampel OC.2



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 30 MPa
GSI = 65 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

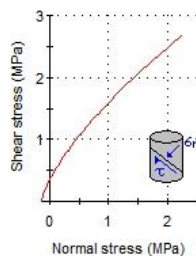
$m_b = 1.462$ $s = 0.0063$ $a = 0.502$

Mohr-Coulomb Fit

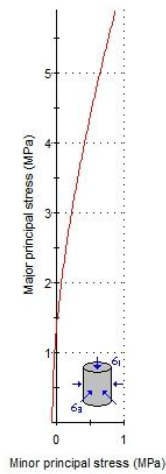
cohesion = 0.498 MPa friction angle = 45.94 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.129 MPa
uniaxial compressive strength = 2.351 MPa
global strength = 5.085 MPa
modulus of deformation = 8442.56 MPa



Sampel OC.3



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 26 MPa
GSI = 59 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

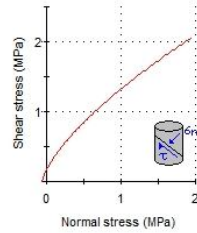
$m_b = 1.051$ $s = 0.0026$ $a = 0.503$

Mohr-Coulomb Fit

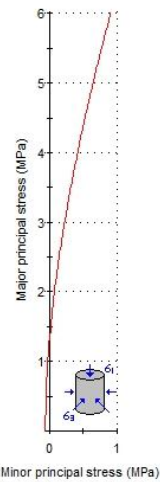
cohesion = 0.350 MPa friction angle = 42.95 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.065 MPa
uniaxial compressive strength = 1.309 MPa
global strength = 3.630 MPa
modulus of deformation = 5564.17 MPa



Sampel OC.4



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 26 MPa
GSI = 59 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

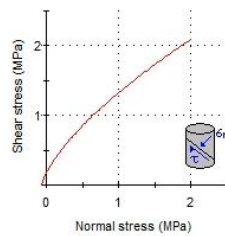
$m_b = 1.051$ $s = 0.0026$ $a = 0.503$

Mohr-Coulomb Fit

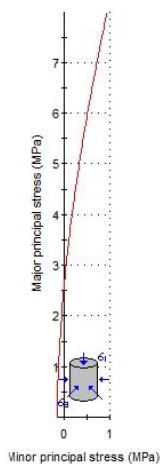
cohesion = 0.356 MPa friction angle = 42.66 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.065 MPa
uniaxial compressive strength = 1.309 MPa
global strength = 3.630 MPa
modulus of deformation = 5564.17 MPa



Sampel OC.5



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 30 MPa
GSI = 66 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

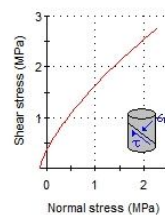
$m_b = 1.544$ $s = 0.0072$ $a = 0.502$

Mohr-Coulomb Fit

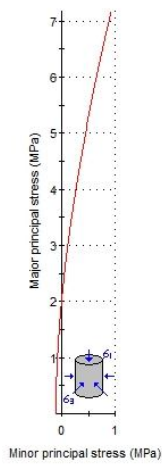
cohesion = 0.522 MPa friction angle = 46.28 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.141 MPa
uniaxial compressive strength = 2.530 MPa
global strength = 5.257 MPa
modulus of deformation = 8942.81 MPa



Sampel OC.6



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 26 MPa
GSI = 65 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

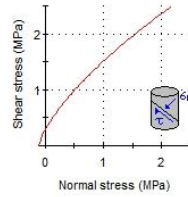
$m_b = 1.462$ $s = 0.0063$ $a = 0.502$

Mohr-Coulomb Fit

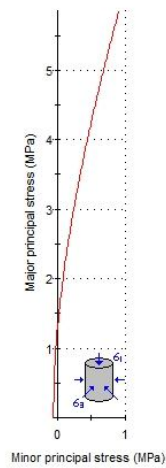
cohesion = 0.455 MPa friction angle = 44.97 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.111 MPa
uniaxial compressive strength = 2.038 MPa
global strength = 4.407 MPa
modulus of deformation = 7859.59 MPa



Sampel OC.7



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 26 MPa
GSI = 58 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

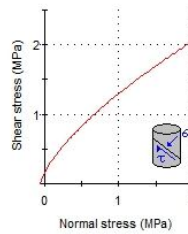
$m_b = 0.995$ $s = 0.0023$ $a = 0.503$

Mohr-Coulomb Fit

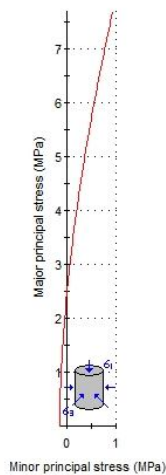
cohesion = 0.343 MPa friction angle = 42.25 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.059 MPa
uniaxial compressive strength = 1.215 MPa
global strength = 3.517 MPa
modulus of deformation = 5252.91 MPa



Sampel OC.8



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 28 MPa
GSI = 66 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

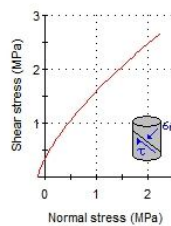
$m_b = 1.544$ $s = 0.0072$ $a = 0.502$

Mohr-Coulomb Fit

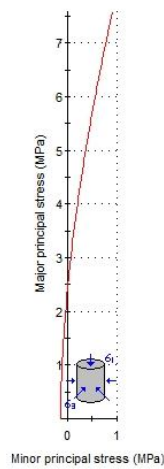
cohesion = 0.499 MPa friction angle = 45.83 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.131 MPa
uniaxial compressive strength = 2.362 MPa
global strength = 4.907 MPa
modulus of deformation = 8639.57 MPa



Sampel OC.9



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 28 MPa
GSI = 66 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

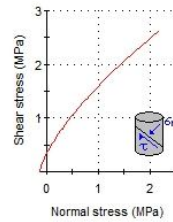
$m_b = 1.544$ $s = 0.0072$ $a = 0.502$

Mohr-Coulomb Fit

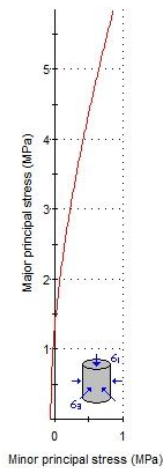
cohesion = 0.493 MPa friction angle = 46.04 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.131 MPa
uniaxial compressive strength = 2.362 MPa
global strength = 4.907 MPa
modulus of deformation = 8639.57 MPa



Sampel OC.10



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 26 MPa
GSI = 59 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

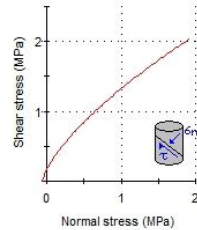
$m_b = 1.051$ $s = 0.0026$ $a = 0.503$

Mohr-Coulomb Fit

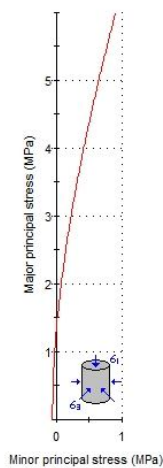
cohesion = 0.347 MPa friction angle = 43.08 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.065 MPa
uniaxial compressive strength = 1.309 MPa
global strength = 3.630 MPa
modulus of deformation = 5564.17 MPa



Sampel OC.11



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 26 MPa
GSI = 59 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

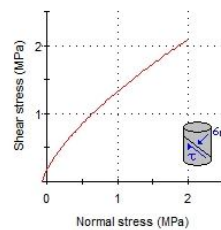
$m_b = 1.051$ $s = 0.0026$ $a = 0.503$

Mohr-Coulomb Fit

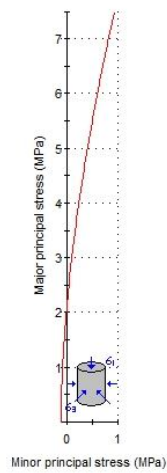
cohesion = 0.355 MPa friction angle = 42.72 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.065 MPa
uniaxial compressive strength = 1.309 MPa
global strength = 3.630 MPa
modulus of deformation = 5564.17 MPa



Sampel OC.12



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 30 MPa
GSI = 64 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

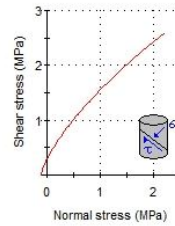
$m_b = 1.383$ $s = 0.0054$ $a = 0.502$

Mohr-Coulomb Fit

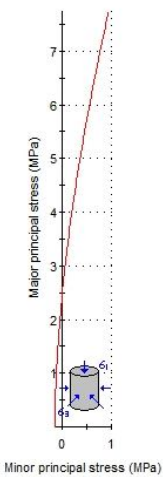
cohesion = 0.475 MPa friction angle = 45.61 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.118 MPa
uniaxial compressive strength = 2.185 MPa
global strength = 4.920 MPa
modulus of deformation = 7970.29 MPa



Sampel OC.13



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 28 MPa
GSI = 66 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

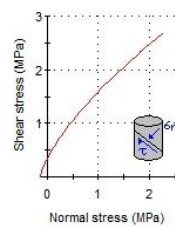
$m_b = 1.544$ $s = 0.0072$ $a = 0.502$

Mohr-Coulomb Fit

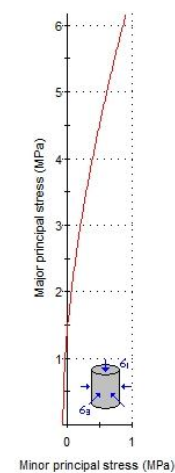
cohesion = 0.501 MPa friction angle = 45.74 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.131 MPa
uniaxial compressive strength = 2.362 MPa
global strength = 4.907 MPa
modulus of deformation = 8639.57 MPa



Sampel OC.14



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 26 MPa
GSI = 60 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

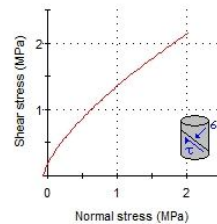
$m_b = 1.110$ $s = 0.0030$ $a = 0.503$

Mohr-Coulomb Fit

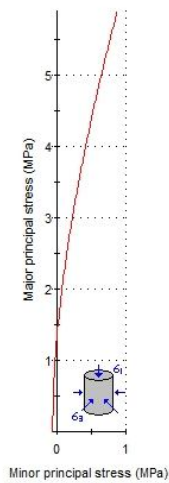
cohesion = 0.368 MPa friction angle = 43.12 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.071 MPa
uniaxial compressive strength = 1.409 MPa
global strength = 3.747 MPa
modulus of deformation = 5893.86 MPa



Sampel OC.15



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 26 MPa
GSI = 59 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

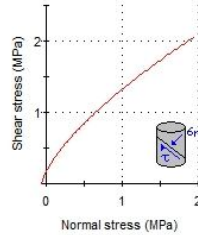
$m_b = 1.051$ $s = 0.0026$ $a = 0.503$

Mohr-Coulomb Fit

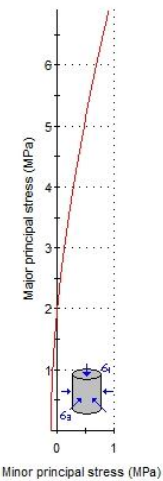
cohesion = 0.350 MPa friction angle = 42.95 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.065 MPa
uniaxial compressive strength = 1.309 MPa
global strength = 3.630 MPa
modulus of deformation = 5564.17 MPa



Sampel OC.16



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 26 MPa
GSI = 64 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

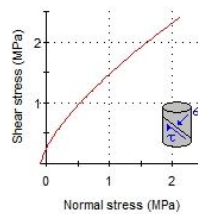
$m_b = 1.383$ $s = 0.0054$ $a = 0.502$

Mohr-Coulomb Fit

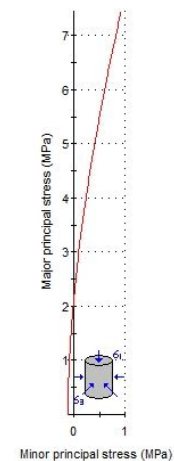
cohesion = 0.432 MPa friction angle = 44.73 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.102 MPa
uniaxial compressive strength = 1.893 MPa
global strength = 4.264 MPa
modulus of deformation = 7419.93 MPa



Sampel OC.17



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 28 MPa
GSI = 65 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

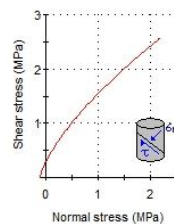
$m_b = 1.462$ $s = 0.0063$ $a = 0.502$

Mohr-Coulomb Fit

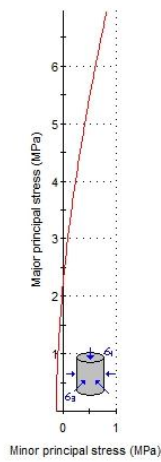
cohesion = 0.475 MPa friction angle = 45.50 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.120 MPa
uniaxial compressive strength = 2.194 MPa
global strength = 4.746 MPa
modulus of deformation = 8156.28 MPa



Sampel OC.18



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 26 MPa
GSI = 66 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

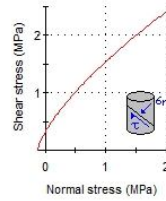
$m_b = 1.544$ $s = 0.0072$ $a = 0.502$

Mohr-Coulomb Fit

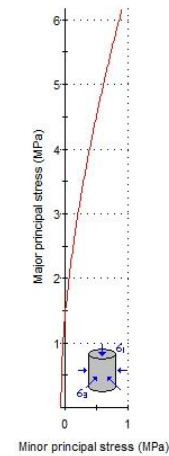
cohesion = 0.454 MPa friction angle = 46.20 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.122 MPa
uniaxial compressive strength = 2.193 MPa
global strength = 4.556 MPa
modulus of deformation = 8325.30 MPa



Sampel OC.19



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 26 MPa
GSI = 60 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

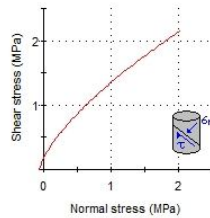
$m_b = 1.110$ $s = 0.0030$ $a = 0.503$

Mohr-Coulomb Fit

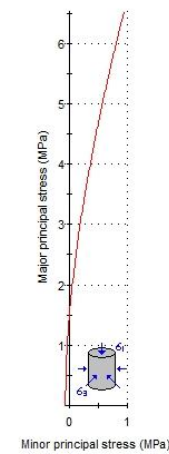
cohesion = 0.368 MPa friction angle = 43.12 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.071 MPa
uniaxial compressive strength = 1.409 MPa
global strength = 3.747 MPa
modulus of deformation = 5893.86 MPa



Sampel OC.20



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 28 MPa
GSI = 60 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

$m_b = 1.110$ $s = 0.0030$ $a = 0.503$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.391 MPa friction angle = 43.37 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.077 MPa
uniaxial compressive strength = 1.518 MPa
global strength = 4.035 MPa
modulus of deformation = 6116.35 MPa

